

Ảnh hưởng của hư hỏng lên phổ dao động của dầm chịu tác dụng của tải di động

- Phạm bảo Toàn
- Nguyễn Quang Thành
- Ngô Kiều Nhi

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 30 tháng 10 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 10 tháng 11 năm 2015)

TÓM TẮT

Bài báo khảo sát những thay đổi các giá trị của phổ công suất tín hiệu dao động ngẫu nhiên của một cấu trúc dầm chịu tác dụng của tải di động khi hư hỏng xuất hiện. Từ đó trình bày một phương pháp khảo sát ứng xử của dầm cầu đã bị suy yếu. Sự suy yếu của dầm được thực hiện bằng cách thay đổi độ cứng chống uốn của dầm (tạo vết cắt dọc hay ngang). Những đặc trưng trích xuất từ thay đổi giá trị của phổ công suất được dùng

để nhận dạng hư hỏng. Phương pháp kiểm chứng được thực hiện dựa trên các tập số liệu đo trên một thanh dầm kim loại dao động với tải trọng di chuyển. Thí nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Cơ học ứng dụng (PTN CHUD) của trường Đại học Bách khoa Tp.HCM. Phổ dao động được tính toán từ tín hiệu của các cảm biến gia tốc kiểu MEMS bố trí cách đều dọc trên dầm.

Từ khóa: dao động dầm, hư hỏng, tải di động, ngẫu nhiên, tín hiệu phổ

1. GIỚI THIỆU

Các công trình cầu giữ vai trò quan trọng trong mọi hoạt động của xã hội. Các sự cố hư hỏng của cầu không những làm cho lưu thông bị đình trệ, tổn thất lớn về kinh tế mà còn có thể gây thiệt hại đến con người. Nguyên nhân quan trọng khiến tốc độ hư hỏng của cầu tăng trầm trọng hơn ngoài do vật liệu bị lão hóa bởi môi trường còn do sự khác biệt rất lớn về khối lượng giao thông dự kiến khi thiết kế và khối lượng giao thông diễn ra trong thực tế khai thác [1]. Do vậy đánh giá tình trạng hoạt động và kiểm tra khuyết tật của các công trình cầu một cách thường xuyên là một nhiệm vụ thường trực của các cơ quan quản lý giao thông nhằm đảm bảo an toàn trong quá trình vận hành chúng.

Việc giám sát trong thực tế thường được thực hiện bằng các phương pháp kiểm tra không

phá hủy NDT (non-destructive testing). Các phương pháp NDT là các biện pháp xem xét bằng mắt hay các biện pháp định vị thực nghiệm như kiểm tra cục bộ bằng thiết bị chuyên dụng như chụp ảnh phóng xạ, siêu âm, thăm thấu chất lỏng, kiểm tra dòng xoáy. Khuyết điểm của các phương pháp trên là phải biết sơ bộ vị trí và dễ dàng tiếp cận khu vực bị hư hỏng của cấu trúc và chỉ phát hiện được các khuyết tật gần bề mặt của cấu trúc [2].

Bên cạnh các phương pháp kiểm tra NDT, một hướng khác là theo dõi sự thay đổi những tính chất động lực học của cấu trúc. Nếu khối lượng, kích thước hình học và tải trọng không đổi theo thời gian thì chính khả năng chịu lực hay vết nứt chính là nguyên nhân làm thay đổi tính chất động lực học của cấu trúc. Nếu sự thay đổi này

có thể được phát hiện và định lượng thì phương pháp này có thể được áp dụng để chẩn đoán tình trạng của cầu trúc. Các tính chất động lực học thường được đo từ các tín hiệu đo dao động của cầu trúc, hay các đặc trưng phân tích từ các tín hiệu dao động.

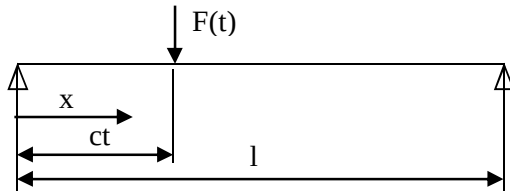
Tín hiệu dao động của cầu thường được thu nhận từ những đáp ứng động lực học dưới những biện pháp kích thích khác nhau. Các phương pháp kích thích được chia thành 3 loại: có quy luật (như tải biến thiên điều hòa), tải đột ngột (va chạm) tải ngẫu nhiên như các tải thực của cầu (dòng lưu thông, gió, bão, động đất, dòng chảy). Các biện pháp kích thích điều hòa hay va chạm có ưu điểm là chúng ta có thể xác định trước và quản lý các hàm lực tác động lên cầu trúc. Do đó, các phương pháp này có chung đặc điểm là tải tác động lên cầu trúc là tiền định. Các phương pháp này chỉ phù hợp với các cầu trúc chịu tải cố định tại các vị trí xác định. Ngày nay các nghiên cứu về vấn đề này tập trung đi sâu vào giải quyết sự chính xác và ứng dụng thực tiễn của các phương pháp vào từng cầu trúc cụ thể bằng cách tìm ra những đặc trưng nhạy với thay đổi của cầu trúc do hư hỏng [3],[4]. Đặc biệt là cầu trúc cầu, để tiết kiệm chi phí kiểm tra thì phương án sử dụng chính tải lưu thông của cầu là hợp lý nhất [5],[6]. Bên cạnh đó, lưu thông trên cầu là ngẫu nhiên và liên tục, nên một số nghiên cứu nhận dạng hư hỏng với kích thích dao động ngẫu nhiên cũng được tiến hành khá sớm [7]. Đối với đáp ứng dao động ngẫu nhiên của cầu thì phân tích mật độ phổ công suất PSD (power spectral density) được cho là một trong những công cụ hữu hiệu để xác định tình trạng cơ học của cầu trúc [8]. Sự nhất quán giữa 2 hình dạng phổ dao động trước và sau hư hỏng của một thanh dầm công-xôn chịu kích động của bộ kích shaker đã được khảo sát [9]. Ngoài ra, sự khác biệt về biên độ của từng hài trong hàm mật độ phổ công suất cũng được nghiên cứu để phát hiện vị trí của khuyết tật [10]. Ngoài ra còn có một số công trình sử dụng dạng

cong của đồ thị hàm mật độ phổ [11], kết quả cho thấy phương pháp này cải thiện nhiều hơn so với sử dụng biên độ. Bên cạnh một số nghiên cứu sử dụng chính giá trị PSD thì một số nghiên cứu lại chuyển sang sử dụng các thông số tính từ PSD như năng lượng biến dạng [12] hay mô men uốn của cầu trúc [13]. Các phương pháp sử dụng PSD ở trên khi kiểm chứng với tập số liệu mô phỏng số thì cho kết quả rất khả quan, tuy nhiên khi áp dụng vào tín hiệu đo thực của cầu trúc thì gặp một số khó khăn về cả phương diện đo tín hiệu hay phương pháp tính toán. Vì trong thực tế một số dữ liệu đáp ứng của cầu trúc sẽ tồn tại nhiễu và rất khó thu nhận cũng như số lượng tín hiệu thu nhận rất hạn chế. Cho nên một số nhà nghiên cứu đã khắc phục bằng cách đã sử dụng PSD kết hợp với những giải thuật thông minh như logic mờ (Fuzzy) [14] giải thuật di truyền GA (Genetic Algorithm) [15] hay thuật toán Bayes [16] nhằm cải tiến kết quả chẩn đoán. Hầu như các nghiên cứu sử dụng PSD để nhận dạng hư hỏng chỉ mới sử dụng tín hiệu dao động bởi nguồn kích thích tại một vị trí bất kỳ, rất ít các nghiên cứu đề cập đến phân tích phổ của tín hiệu dao động bởi nguồn kích thích di động [17],[18]. Đa số cầu ở nước ta là kết cấu cầu dầm tựa giản đơn. Đối với dạng cầu này thì bộ phận dễ bị hư hỏng nhất là nhịp cầu. Nhịp cầu là bộ phận quan trọng của cầu trúc cầu, chịu trực tiếp tác động của tải lưu thông và có độ cứng yếu nhất so với các bộ phận khác. Nên bài báo sẽ đi sâu vào tìm hiểu dao động ngẫu nhiên của thanh dầm thép chịu tải ngẫu nhiên di động.

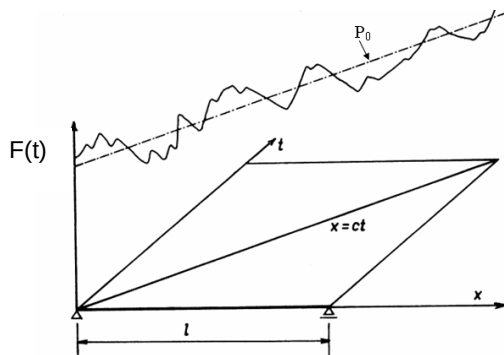
2. DAO ĐỘNG CỦA DẦM DƯỚI TẢI TRỌNG DI ĐỘNG

Kích thước chiều dọc của nhịp lớn hơn nhiều các kích thước còn lại và được gia cố bởi các thanh dầm phía dưới với 2 đầu tựa lên trụ. Tải lưu thông chủ yếu tác dụng lực theo phương vuông góc với nhịp, do vậy trạng thái chịu lực chủ yếu của nhịp là uốn ngang phẳng. Trong các nghiên cứu hệ thống tương tác giữa nhịp cầu và dòng lưu

thông, nếu chỉ quan tâm đến đối tượng nhíp và bỏ qua tác động qua lại giữa cấu tạo xe cộ và kết cấu cầu, ta có thể đơn giản hóa xe cộ lưu thông qua cầu thành tải trọng $F(x,t)$ di chuyển trên cầu. Mô hình liên kết và chịu lực như trên hình 1.



Hình 1. Mô hình dầm tựa đơn giản với tải di chuyển



Hình 2. Mô hình tải ngẫu nhiên di chuyển trên dầm [19]

Theo lý thuyết dầm Bernouli-Euler thì phương trình dao động của dầm được diễn tả như sau [19]

$$EJ \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} + 2\mu\omega_b \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} = f(x,t) = \delta(x-ct)F(t) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} w(0,t) &= 0; & w(l,t) &= 0, \\ \left. \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right|_{x=0} &= 0; & \left. \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right|_{x=l} &= 0 \\ w(x,0) &= 0; & \left. \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right|_{t=0} &= 0; \end{aligned}$$

Trong đó x là vị trí điểm trên dầm, ω_b là tần số góc giảm chấn, t là thời gian, $F(t)$ là tải tập

trung, μ là khối lượng riêng của dầm trên một đơn vị chiều dài, c là tốc độ của tải di chuyển.

Nếu $F(t)$ là một hàm lực dao động ngẫu nhiên. Theo nguyên lý cộng lực tác dụng, một hàm lực ngẫu nhiên hoàn toàn có thể biểu diễn thành tổng các lực không đổi và các lực biến thiên điều hòa ($F(t) = P_0 + \sum P_j(t)$).

$$w(x,t) = \frac{2P_0\omega}{l\mu} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{j}{(\omega_j^2 - j^2\omega^2)^2 + 4\omega_b^2 j^2 \omega^2} \left[\frac{\omega_j^2 - j^2\omega^2}{j\omega} \sin j\omega t - \frac{\omega_j^2 - \omega_b^2 - j^2\omega^2}{\omega_j'} e^{-\omega_b t} \sin \omega_j' t - 2\omega_b (\cos j\omega t - e^{-\omega_b t} \cos \omega_j' t) \right] \sin \frac{j\pi x}{l} \quad (2)$$

Dao động của dầm chịu tác dụng của tải cố định P_0 được biểu diễn như phương trình (2) và chịu tác dụng của lực biến thiên điều hòa $P_j(t) = Q_j \cos(\Omega_j t)$ được biểu diễn theo phương trình (3).

$$w(x,t) = \frac{2l^3 Q \omega_{(1)}^2}{\pi^4 EJ \Omega^2} \frac{1}{\left(\frac{\omega_{(1)}^2}{\Omega^2} - 1 \right)^2 + 4 \left(\frac{\omega^2}{\Omega^2} + \frac{\omega_b^2}{\Omega^2} \right)} \left\{ \left[\left(\frac{\omega_{(1)}^2}{\Omega^2} - 1 \right)^2 + 4 \frac{\omega_b^2}{\Omega^2} \right]^{1/2} \sin(\Omega t + \varphi) \sin \omega t + \left[+ 2 \frac{\omega}{\Omega} (\cos \Omega t \cos \omega t - e^{-\omega_b t} \cos \omega_{(1)} t) \right] \right\} \sin \frac{\pi x}{l} \quad (3)$$

Trong đó tần số riêng ω_j và tần số tốc độ ω_c

$$\omega_j^2 = \frac{j^4 p^4 EJ}{l^4 m}; \quad \omega = \frac{pc}{l}; \quad \omega_j'^2 = \omega_j^2 - \omega_b^2 \quad (4)$$

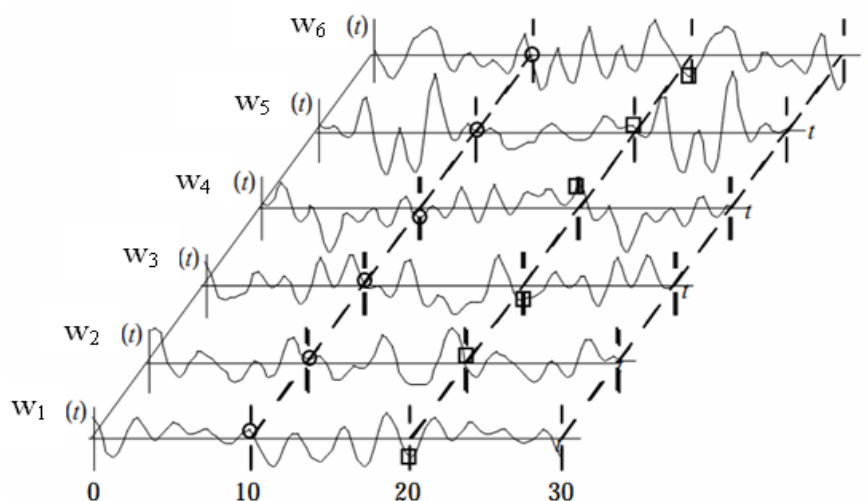
3. ĐẶC TRƯNG TÍN HIỆU NGẪU NHIÊN

Cho tập hợp n tín hiệu dao động ngẫu nhiên rời rạc $w_n(t)$ như hình 3 thì các đại lượng đặc trưng của tín hiệu trong miền thời gian bao gồm:

$$\mu_w(t) = E[w(t)] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w_n(t) \quad (5)$$

$$\sigma_w(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(w_n(t) - \mu_w(t))^2] \quad (6)$$

$$R_{ww}(t, \tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w_n(t) w_n(t + \tau) \quad (7)$$



Hình 3. Tập hợp tín hiệu dao động ngẫu nhiên $w_n(t)$ [8]

Trong đó $\mu_w(t)$ là giá trị trung bình, $\sigma_w(t)$ là phương sai và R_{ww} là hàm tự tương quan của tập tín hiệu khảo sát $w_n(t)$

Biến đổi Fourier $\tilde{w}(\omega)$ của tín hiệu $w(t)$ từ miền thời gian sang miền tần số được định nghĩa

$$\tilde{w}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} w(t) e^{-i\omega t} dt \quad (8)$$

Tương tự như miền thời gian. Là một tập hợp các dao động ngẫu nhiên $w_n(t)$ ta có giá trị phổ trung bình $\mu_w(\omega)$:

$$\mu_w(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \mu_w(t) e^{-i\omega t} dt = \tilde{\mu}_w(\omega) \quad (9)$$

Bên cạnh đó ta cũng xét hàm tương quan của 2 phổ biên độ

$$R_{ww}(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R_{ww}(t_1, t_2) e^{-i(\omega_1 t_1 - \omega_2 t_2)} dt_1 dt_2 \quad (10)$$

Khi $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ thì hàm tương quan $R_{ww}(\omega, \omega)$ sẽ trở thành

$$S_{ww}(\omega) = R_{ww}(\omega, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{ww}(\tau) e^{-i\omega \tau} d\tau \quad (11)$$

Hàm S_{ww} [8] được gọi là hàm mật độ tự phổ (autospectral density function) của tập tín hiệu ngẫu nhiên $w_n(t)$. Ngoài ra nó còn thường được gọi là hàm mật độ phổ công suất của tín hiệu được định nghĩa theo lý thuyết Wiener-Khinchine là biến đổi Fourier của hàm tự tương quan. Phổ

công suất là một hàm số đại diện cho sự phân bố năng lượng dao động của quá trình ngẫu nhiên $w_n(t)$ trong miền tần số.

Các hàm mật độ phổ công suất của một tập tín hiệu dao động ngẫu nhiên $w_n(t)$ cũng là các hàm ngẫu nhiên. Để khảo sát đánh giá hàm mật độ phổ tác giả sẽ sử dụng khái niệm mô men thống kê M^k của phổ trung bình của các tín hiệu ngẫu nhiên.

$$M_f^k = \frac{1}{M_f^0} \int_{-\infty}^{\infty} (f - M_f^1)^k \bar{S}_{ww} df \quad (12)$$

4. THÍ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

4.1. Thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được chế tạo tại Phòng thí nghiệm Cơ học Ứng dụng trường Đại học Bách Khoa. Hệ thống bao gồm các thiết bị chủ yếu: khung dầm, tải di chuyển (mô hình xe), hệ thống truyền động xe, máy biến tần, cảm biến đo, hộp thu tín hiệu, máy tính như trên hình 4.

Mô hình dầm: cấu tạo gồm có một tấm thép với kích thước dài 90 cm rộng 10 cm và dày 0,5 cm. Dầm được đặt tựa trên hai gối đỡ như hình 4.. Ngoài ra trên khung mỗi đầu ta thiết kế thêm 2 bệ đỡ có tác dụng làm đầu vào và đầu ra cho tải giúp mô hình tải di động giống với thực tế hơn (tải di chuyển từ bên ngoài tiến vào cầu và kết thúc là ra hoàn toàn khỏi cầu).

Mô hình tải di động: cấu tạo từ một khối kim loại phía bên dưới có lắp bánh xe giúp tải có thể chuyển động trên dầm. Để tạo được lực biến thiên như mong muốn ta gắn lên trên tải một động cơ có kết nối với biến tần. Trên trục của động cơ có lắp 1 khối lệch tâm để tạo lực li tâm. Ta có thể thay đổi tốc độ quay của động cơ thông qua điều khiển biến tần để tạo ra được lực biến thiên với độ lớn và tần số kích thích khác nhau.

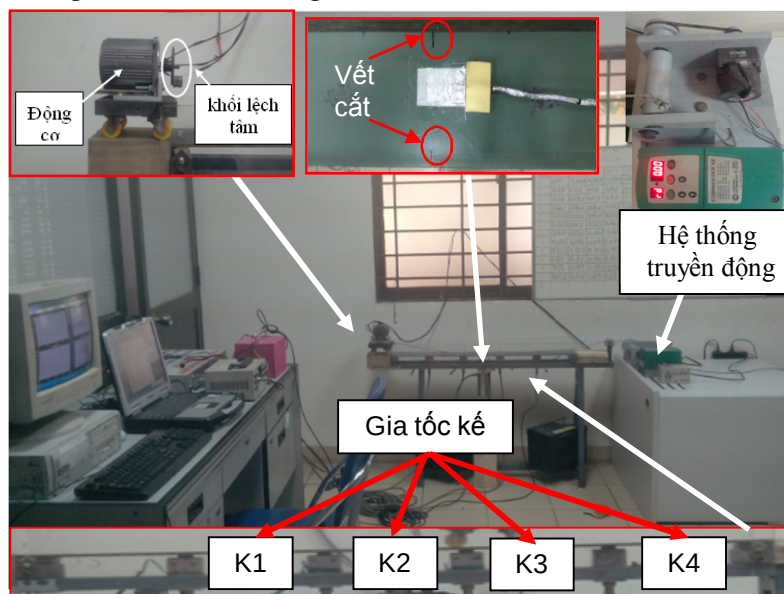
Hệ thống truyền động cho tải: cấu tạo gồm 1 động cơ 3 pha, truyền động bằng đai và điều khiển bằng biến tần. Hệ thống có tác dụng truyền động giúp cho xe chuyển động trên dầm với tốc độ đều.

Mục tiêu chính của thí nghiệm là xác định ảnh hưởng của khuyết tật đối với các đặc trưng (feature) của phổ công suất tín hiệu dao động của

dầm. Khuyết tật được tạo bằng các 2 vết cắt rộng 1,5 mm với độ dài H_i (bảng 1) như nhau ở 2 bên cạnh của của dầm như hình 4.

4.2. Kết quả

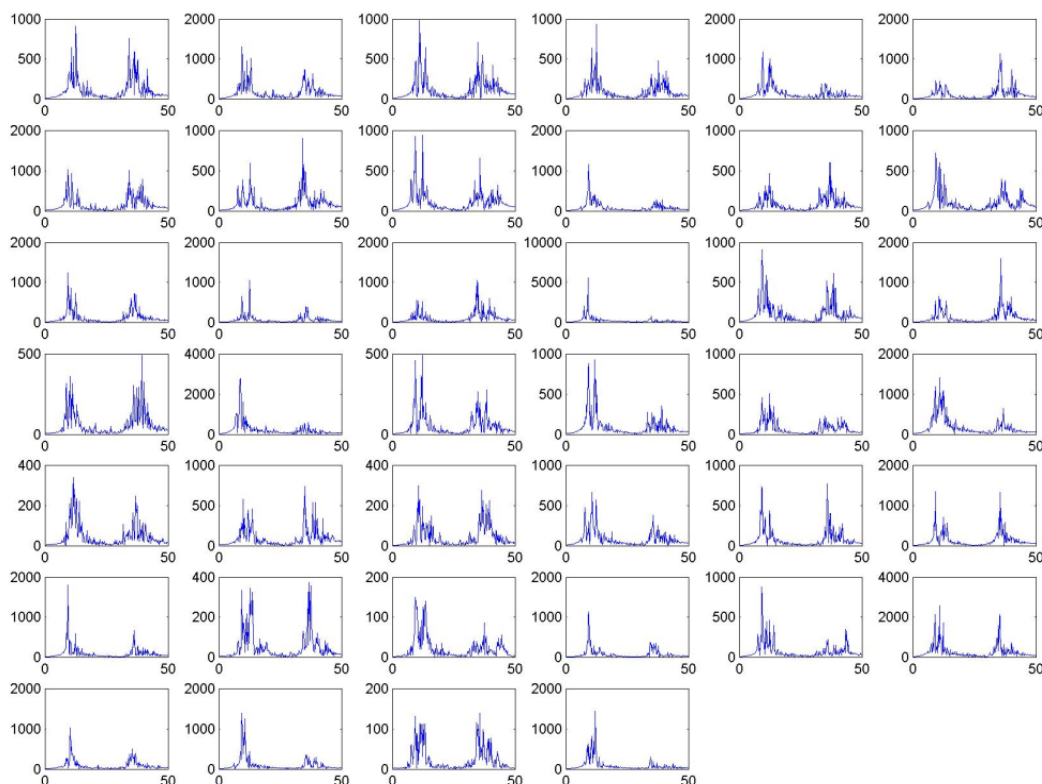
Mục tiêu của phần nghiên cứu này là khảo sát ảnh hưởng của khuyết tật lên sự thay đổi các đặc trưng của phổ công suất S_w . Để đảm bảo tính thống kê, một trạng thái kích thích $H_i V_i$ cũng được thực hiện 40 lần nhằm thu nhận hầu như các đáp ứng ngẫu nhiên của dầm. Từ các tín hiệu ta tìm được các hàm mật độ phổ S_{ww} . Ta nhận thấy rằng hàm mật độ phổ cũng là một hàm ngẫu nhiên như hình 5. Do đó để đánh giá đúng bản chất của phổ công suất ta sử dụng hàm mật độ phổ bình quân $\bar{S}_{ww}$ là giá trị bình quân của các S_{ww} để đặc trưng cho trạng thái kích thích đó.



Hình 4. Mô hình thí nghiệm và cách bố trí

Bảng 1: Điều kiện kích thích và mức độ khuyết tật

Khối lượng xe	Mức độ vết cắt H_i	Vận tốc xe V_i
4,2 kg	$H_0 = 0$ mm	$V_1 = 15,7$ cm/s
4,2 kg	$H_1 = 2$ mm	$V_2 = 18,84$ cm/s
4,2 kg	$H_2 = 4$ mm	$V_3 = 21,98$ cm/s
4,2 kg	$H_3 = 6$ mm	$V_4 = 25,12$ cm/s
4,2 kg	$H_4 = 8$ mm	$V_5 = 28,26$ cm/s
4.2 kg	$H_5 = 10$ mm	$V_6 = 31,4$ cm/s

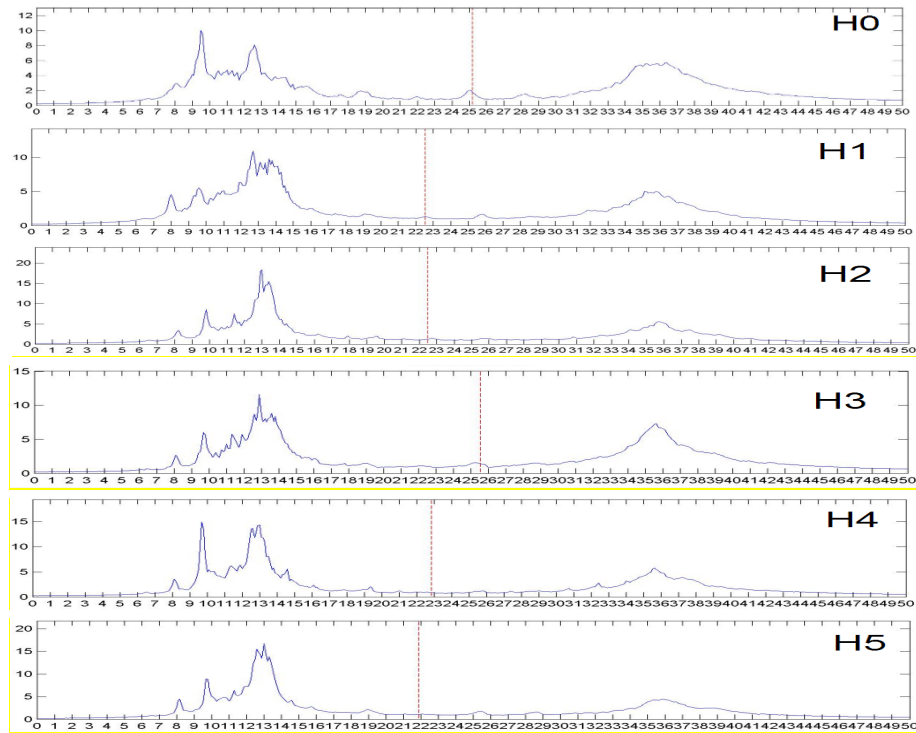


Hình 5. Hàm mật độ phổ của các lần đo dao động đầm cùng trạng thái kích thích $H_i V_i$

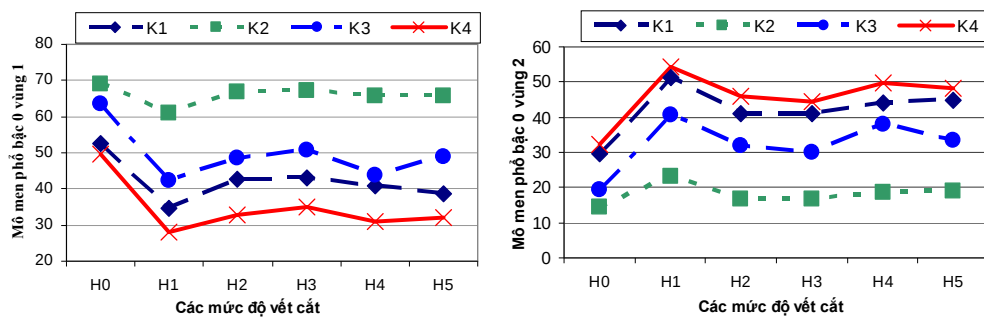
Hình 5 thể hiện hình dạng phổ dao động của đầm trong cùng trạng thái kích thích với hoành độ là tần số và tung độ là công suất tín hiệu dao động. Ta thấy rằng trên hình ảnh hàm mật độ phổ công suất của tín hiệu gia tốc tập trung ở 2 vùng tần số. Vùng tần số thứ nhất tập trung quanh tần số riêng uốn thứ nhất của đầm (13 Hz). Vùng tần số thứ 2, trải dài từ 28 Hz đến 50 Hz và tập trung quanh 36 Hz. Tuy vậy để đánh giá các phổ công suất của từng trạng thái kích thích với nhau một cách khách quan, chúng ta cần trực chuẩn hàm mật độ phổ. Phương pháp trực chuẩn phổ biến là giả sử ảnh hưởng của biên độ các hài của các phổ công suất là như nhau với cùng trạng thái kích thích. Phương pháp trực chuẩn được thực hiện bằng cách lấy từng giá trị S_{ww} tại các tần số chia cho giá trị căn bậc 2 tổng bình phương các giá trị S_{ww} .

$$S_1 = \frac{S_{ww}}{SRSS} = \frac{S_{ww}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n S_{ww}^2}}$$

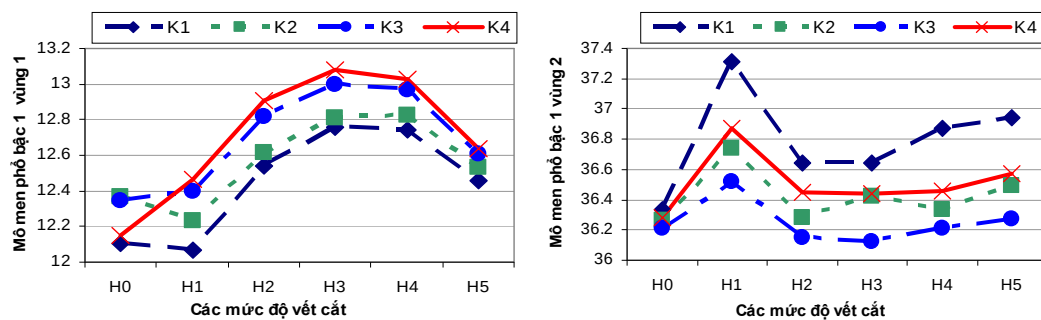
Dựa trên phổ công suất bình quân trên hình 6, ta thấy rằng năng lượng của vùng tần số thứ 2 có xu hướng giảm dần biên độ của các hài và dịch dần trọng tâm về phía trái thang tần số và chỉ xuất hiện 1 giá trị đỉnh duy nhất. Trong khi đó vùng tần số thứ nhất thường tồn tại 2 giá trị đỉnh và có xu hướng dịch về phía phải và tập trung ngay tại vị trí tần số riêng thứ nhất. Từ những đặc điểm phổ công suất bình quân ta thấy rằng tuy tần số riêng ít thay đổi nhưng biên dạng của các vùng tần số thay đổi một cách rõ ràng qua các mức độ khuyết tật. Điều đáng quan tâm ở đây là xem xét các yếu tố ảnh hưởng do các yếu tố khác nhau lên phổ công suất bình quân ngoài khuyết tật như quy trình đo, thao tác xử lý của người đo.... Đây là những yếu tố rất dễ gặp phải ngoài hiện trường.



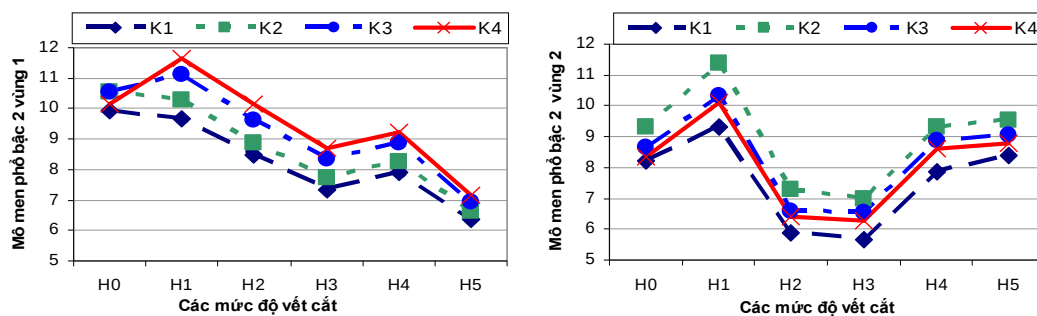
Hình 6: Phổ công suất bình quân tại các mức độ hư hỏng khác nhau



Hình 7. Mô men bậc 0 của 2 vùng tần số phổ công suất bình quân tại các mức vết cắt khác nhau



Hình 8. Mô men bậc 1 của 2 vùng tần số phổ công suất bình quân tại các mức vết cắt khác nhau



Hình 9: Mô men bậc 2 của 2 vùng tần số phổ công suất bình quân tại các mức vết cắt khác nhau

Khảo sát hình 7, ta thấy nhìn chung giá trị mô men bậc 0 của vùng 1 có xu hướng tăng còn vùng 2 có xu hướng giảm khi hư hỏng tăng. Kết quả này chứng tỏ giá trị phổ công suất có xu hướng lệch về phía tần số thấp hơn nếu hư hỏng càng lớn. Tính chất này giống như tần số riêng về mặt lý thuyết nhưng giá trị thể hiện rõ rất nhiều. Điều này chứng tỏ mô men bậc 0 thể hiện được độ xê dịch các vùng tần số trên phổ công suất bình quân, và sự xê dịch này tỉ lệ với mức độ hư hỏng của cấu trúc. Về mặt thực tiễn thì phương pháp thực hiện rất tiện lợi, không quan tâm đến tải trọng

Tương tự như giá trị mô men phổ bậc 0 đại diện cho mức độ năng lượng của các vùng tần số, thì giá trị mô men phổ bậc 1 (tần số trung tâm của vùng tần số) tại vùng thứ nhất có xu hướng tăng rõ ràng hơn mô men bậc 0 và suy giảm tại vùng tần số cao. Vì vậy mô men phổ bậc 1 phù hợp đánh giá tình trạng khuyết tật.

Trong các mô men thì ta thấy rằng mô men bậc 2 tại vùng 1 giảm rõ ràng nhất. Còn vùng 2 thì lúc tăng lúc giảm. Điều chứng tỏ hai điều, một là mô men bậc 2 (bề rộng của phổ) càng nhỏ thì sự tập trung năng lượng tại vị trí tần số trung tâm càng lớn, rất giống với hiện tượng cộng hưởng là

năng lượng tập trung một vùng hẹp quanh tần số riêng, hai là vùng cộng hưởng ở tần số cao không ổn định. Nghĩa là khi khuyết tật tăng dần thì năng lượng dao động sẽ càng tập trung quanh vị trí tần số trung tâm của phổ. Đây cũng là một dấu hiệu rõ ràng cho phép chúng ta theo dõi diễn biến của khuyết tật.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày lý thuyết dao động của thanh dầm liên kết gián đoạn chịu tác dụng của tải trọng di chuyển. Đưa ra các phương trình dao động của dầm với các trường hợp tải ngẫu nhiên là tổng các tải cố định, tải điều hòa. Đề xuất ra các thông số phổ bình quân từ tín hiệu đo dao động ngẫu nhiên dưới tác động của dòng phương tiện lưu thông để đại diện cho các dao động ngẫu nhiên của dầm đối với từng trạng thái kích thích khác nhau.. Khảo sát dao động ngẫu nhiên của dầm, từ đó tìm ra các quy luật biến thiên của mô men phổ. Kết quả cho thấy mô men phổ nhạy với mức độ khuyết tật của dầm. Sự biến thiên của mô men phổ chứng tỏ khi nhịp cầu càng xuống cấp thì năng lượng dao động của vùng tần số cao có xu hướng xê dịch sang trái (sang vùng tần số thấp) và càng tập trung năng lượng tại tần số trung tâm của vùng cộng hưởng.

The influence of damage on the Vibration spectrum of a beam subject to random moving load

- Pham Bao Toan
- Nguyen Quang Thanh
- Ngo Kieu Nhi

Ho Chi Minh city University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT

The research show the changes of power spectral of a beam structures subjected to a random moving load. Then presented an damage detection method of bridge beams. The damage of the beam is performed by changing the stiffness (the cut). These features extracted from changes

in value of the spectrum to be used to identify damage. Experimental test is performed based on vibration signal of a metal beam under a random moving load, in the laboratory of Applied Mechanics (LAM) of the University of Technology in Ho Chi Minh city.

Keywords: vibration , damage, random moving load, power spectral density

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Rathish P. Kumar, T. Oshimaa, S. Mikamia, Y. Miyamoria and T. Yamazaki, *Damage identification in a lightly reinforced concrete beam based on changes in the power spectral densit*, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 8, No. 8, August 2012, 715–727.
- [2]. [1] Zaher, M. S. A. A, *An integrated vibration based structural health monitoring system*". PhD thesis, Carleton University, Ottawa .,2002.
- [3]. Z.R. Lua, S.S. Law, "Features of dynamic response sensitivity and its application in damage detection" Journal of Sound and Vibration 303 (2007) 305–329
- [4]. Yaguo Lei, Naipeng Li, Jing Lin and Zhengjia He, "Two new features for condition monitoring and fault diagnosis of planetary gearboxes" Journal of Vibration and Control (2013).
- [5]. Jun Li , S.S. Law , Hong Hao, *Improved damage identification in bridge structures subject to moving loads: Numerical and experimental studies*. International Journal of Mechanical Sciences, Volume 74, September 2013, Pages 99–111
- [6]. Z. H. Li and F. T. K. Au, *Damage Detection of a Continuous Bridge from Response of a Moving Vehicle*. Shock and Vibration, Vol 2014.

-
- [7]. A. K. DAS and S. S. DEY, *Random vibration of beams with localized region of damage*. Computers & Structures Vol. 51. No. 1. pp. 33-38. 1994.
- [8]. Loren D. Lutes, Shahram Sarkan, *Random Vibrations: Analysis of Structural and Mechanical Systems*. Butterworth-Heinemann, 2003.
- [9]. Alessandro RIVOLA. *Comparison Between Second and Higher Order Spectral Analysis in Detecting Structural Damages*. Seventh International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, 24-27 July 2000, University of Southampton, Southampton.
- [10]. Sherif Beskhyroun, Toshiyuki Oshima, Shuichi Mikami, Tomoyuki Yamazaki, *Structural Damage Identification Algorithm Based on Changes in Power Spectral Density*. Journal of Applied Mechanics Vol 8. 2005
- [11]. S. Beskhyroun, T. Oshima, S. Mikami & Y. Tsubota. *Damage identification of steel structures based on changes in the curvature of power spectral density*. 2nd International conference on structural health monitoring of intelligent infrastructure, 2006
- [12]. W.L. Bayissa, N. Haritos. *Structural damage identification in plates using spectral strain energy analysis*. Journal of Sound and Vibration 307 (2007) 226–249
- [13]. W. L. Bayissa and N. Haritos. *Damage Identification in Plate-like Structures using Bending Moment Response Power Spectral Density*. Structural Health Monitoring 2007 6: 5
- [14]. M. GLADYSZ, P. ŚNIADY (2009), *Spectral density of the bridge beam response with uncertain parameters under a random train of moving forces*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 9, Issue 3, 2009, Pages 31–47
- [15]. M. Varmaziar, N. Haritos and E. Gad. *Genetic Algorithm-based Approach for Bayesian Damage Identification Using Spectral Density Analysis in Beam-like Structures*. AEES 2011 Conference, 18-20 November, Barossa Valley, South Australia.
- [16]. Maryam Varmaziar¹ Nicholas Haritos, Michael Kirley, *A One Stage Damage Detection Technique Using Spectral Density Analysis and Parallel Genetic Algorithms*, Key Engineering Materials Vol. 558 (2013) pp 1-11.
- [17]. Ngô Kiều Nhi, Lê Bảo Quỳnh, Nguyễn Ngọc Hải, Phạm Bảo Toàn, Nguyễn Quang Thành, *Phương pháp xây dựng và kết quả phân tích phổ công suất dao động cầu gây bởi lưu thông thực tế*, Tuyển tập hội nghị Cơ Điện Tử toàn quốc lần thứ 6 - VCM-2012, trang 256-264.
- [18]. Ngô Kiều Nhi, Phạm Bảo Toàn, Nguyễn Quang Thành, Lê Bảo Quỳnh, *SURVER CHARACTERISTICS OF POWER SPECTRUM GENERATED BY RANDOM VIBRATION OF THE BRIDGE*, tạp chí khoa học công nghệ tập 52- số 2B, 2014, 114-124.
- [19]. L. Fryba (1999). *Vibration of Solids and Structures Under Moving Loads*, Telford, London
-